

รูปแบบโครงสร้างหลังคาเหล็กgrupพรรณพาดช่วงกว้าง
: กรณีศึกษาสถานีรถไฟฟ้าสายสีแดง ตลิ่งชัน-บางซื่อ-รังสิต

Wide-Span Steel Roof Structure
: A Case Study of the Red Line Skytrain Stations
(Taling Chan-Bang Sue-Rangsit)

รับบทความ	21/04/2566
แก้ไขบทความ	20/06/2566
ยอมรับบทความ	20/06/2566

ดวงกมล ช้อมีชัย ทรงเกียรติ เทย์ธิทรัพย์

ภาควิชาสถาปัตยกรรมและการวางแผน คณะสถาปัตยกรรม ศิลปะและการออกแบบ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Duangkamon Chuemeechai, Songkiat Teartisup

Department of Architecture and Planning, Faculty of Architecture, Art and Design

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Duangkamon.chue@gmail.com, kiatss@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ เรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบอาคารโครงสร้างเหล็กgrupพรรณพาดช่วงกว้าง : กรณีศึกษาสถานีรถไฟฟ้าสายสีแดง ตลิ่งชัน-บางซื่อ-รังสิต เพื่อทำการศึกษารูปแบบโครงสร้างหลังคาเหล็กgrupพรรณพาดช่วงกว้าง และนำมาวิเคราะห์โครงสร้างหลังคาเหล็กgrupพรรณพาดช่วงกว้าง โดยประกอบไปด้วย 4 สถานี ซึ่งมีรูปแบบโครงสร้างแตกต่างกัน ได้แก่ สถานีจตุจักร สถานีดอนเมือง สถานีบางซื่อ และสถานีตลิ่งชัน

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมเอกสารทางวิชาการ พร้อมทั้งการสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้องในการออกแบบสถานีรถไฟฟ้าสายสีแดง ร่วมกับการสำรวจสถานที่จริง สามารถจำแนกรูปแบบสถานีได้เป็น 5 รูปแบบ ประกอบไปด้วย สายสีแดงเข้ม 3 รูปแบบ และสายสีแดงอ่อน 2 รูปแบบ มีกระบวนการศึกษา 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 การศึกษาข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการ เพื่อให้เข้าใจทฤษฎีด้านโครงสร้าง ส่วนที่ 2 การเก็บข้อมูล โดยทำการลงพื้นที่เก็บข้อมูลจากสถานที่จริง เพื่อให้ทราบลักษณะทางกายภาพของอาคารกรณีศึกษา ส่วนที่ 3 วิเคราะห์ด้านโครงสร้าง และสรุปผล ประกอบไปด้วยการจำแนกรูปทรงโครงสร้างทดสอบแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างผ่านโปรแกรม SAP2000 นำไปสู่การสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า โครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้าสายสีแดง ใช้โครงสร้าง 2 ประเภท คือโครงสร้างหลังคาพาดช่วงกว้าง และโครงสร้างรูปตัว T ซึ่งระยะพาดช่วงกว้างสอดคล้องกับรูปแบบขานขาลา ส่งผลให้แต่ละสถานีมีระยะพาดช่วงกว้างและขนาดเหล็กแตกต่างกัน และจากการศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างบริเวณจุดต่อที่ฐานรองรับด้วยโปรแกรม SAP2000 พบว่า โครงสร้างรูปแบบที่ 1, 2 และ 4 เป็นโครงสร้างพาดช่วงกว้าง โดยฐานรองรับแบบยึดแน่นจะส่งผลให้เกิดการเสียรูปของโครงสร้างลดลงและมีการกระจายโมเมนต์มากขึ้น และรูปแบบที่ 3, 5 เป็นโครงสร้างเสารูปตัว T ทำการวิเคราะห์เฉพาะฐานรองรับแบบยึดแน่นเท่านั้น พบว่ามีการกระจายโมเมนต์ทั้งองค์อาคาร เกิดเสียรูปมากที่สุดบริเวณระยะยื่นชายคา

คำสำคัญ: โครงสร้างหลังคา เหล็กgrupพรรณ สถานีรถไฟฟ้าสายสีแดง SAP2000 โครงสร้างพาดช่วงกว้าง

Abstract

This article is part of the thesis, “Factors Affecting the Design of Structural Steel Building: A Case Study of the Red Line Skytrain Stations (Taling Chan-Bang Sue-Rangsit). The study analyses the structure of the wide-span steel roof of the four different station structures: Chatuchak Station, Don Mueang Station, Bang Son Station, and Taling Chan Station.

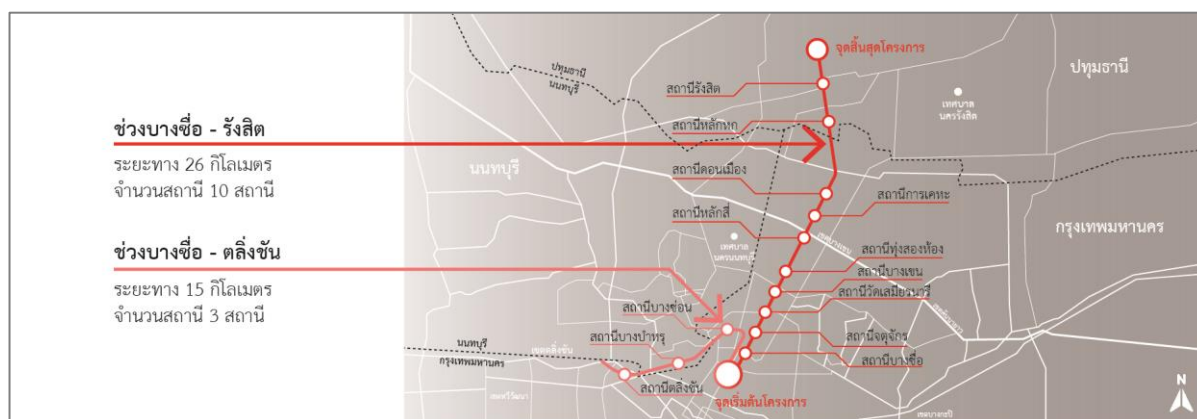
Academic literature was reviewed and people involved in the Red Line station design were interviewed. The actual site survey was also done accordingly. Station types can be classified into 5 types, consisting of 3 types of Dark Red Lines and 2 types of Light Red Lines. The process of the study was divided into three steps. Firstly, the structural theory was reviewed through academic literature. Next, the data was collected from the actual location to understand the physical characteristic of the studied building. In the last step, the result was analyzed and concluded. The structure was analyzed, classified, and tested. The structure’s internal force was tested under the SAP2000 program. The study found that 2 types of structures were constructed as the Red Line station’s roof structure; a wide-span roof structure and a T-shaped column structure.

The study found that 2 types of structures were constructed as the Red Line station’s roof structure; a wide-span roof structure and a T-shaped column structure. The wide-span structure is consistent with the platform design; therefore, each station has a different wide-span distance and a variety of steel sizes. In addition, a behavioural study on the joint of the supporting structure tested in the SAP2000 program found that the 1st, 2nd, and 4th structures are wide-span structures. The fixed base reduces the effect of structural deformation and increases the momentum distribution. The 3rd and 5th structure is a T-shaped column structure. The fixed support base was analyzed, and the moment was distributed throughout the building while the most deformed structure was found at the eaves.

Keywords: *roof structure, sectional steel, Red Line Skytrain Station, SAP2000, wide span structure*

บทนำ

กรุงเทพมหานครมีย่านที่พักอาศัยที่ขยายตัวไปยังเขตชานเมืองและปริมณฑลเป็นพื้นที่กว้าง ปัจจุบันมีรถไฟฟ้าหลายสายให้บริการ หนึ่งในนั้น คือรถไฟฟ้าสายสีแดง โดยมีเส้นทางให้บริการทั้งสิ้น 13 สถานี รวมระยะทาง 41 กม. รองรับรถไฟฟ้า 3 รูปแบบ ได้แก่ รถไฟขบวนสินค้า รถไฟทางไกล ร.ฟ.ท. และรถไฟฟ้าชานเมือง (การรถไฟฟ้าแห่งประเทศไทย, 2562) สถานีรถไฟฟ้าสายสีแดงจึงเป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เนื่องจากรองรับรถไฟฟ้าหลายรูปแบบ โดยใช้ขนาดราง 1 ม. ทั้งหมด เพื่อให้ระบบเดิมสามารถวิ่งร่วมกับระบบใหม่ได้



ภาพ 1 แสดงแผนที่เส้นทางแผนที่เส้นทางรถไฟฟ้าสายสีแดง
ที่มา: ดัดแปลงจาก Google Map โดยผู้วิจัย, 2566

หลังคา เป็นหนึ่งในโครงสร้างหลักของงานก่อสร้าง โดยจะทำหน้าที่ปกป้องอาคารจากสภาพแวดล้อมภายนอก ถือว่าเป็นส่วนประกอบหลักที่ด้านรูปลักษณ์ของตัวอาคาร โครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟฟ้าใช้โครงสร้างพาดช่วงกว้าง เหมาะกับอาคารที่ต้องการพื้นที่การใช้งานขนาดใหญ่ (เฉลิม สุจริต, 2543) ในงานวิจัยนี้ ผู้เขียนลงภาคสนามเก็บข้อมูลพื้นฐานของงานสถาปัตยกรรมในส่วนของหลังคา และได้ทำการวิเคราะห์รูปแบบหลังคาและแสงภายในโครงสร้าง



ภาพ 2 รูปแบบสถานีของสถานีรถไฟฟ้าสายสีแดง

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการรวบรวมรูปแบบโครงสร้างพาดช่วงกว้างของอาคารสถานีรถไฟฟ้าสายสีแดง โดยทำการวิเคราะห์โครงสร้าง และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบการเลือกใช้รูปแบบหลังคา ซึ่งจะเป็นประโยชน์ และเป็นแนวทางการออกแบบอาคารโครงสร้างหลักกรุ๊ปพรรณแก่สถาปนิกหรือบุคคลที่สนใจ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์รูปแบบและเปรียบเทียบรูปแบบโครงสร้างหลังคาของสถานีรถไฟฟ้ายาสีแดง
2. เพื่อวิเคราะห์แรงภายในโครงสร้างที่ส่งผลต่อการออกแบบอาคารสถานีรถไฟฟ้ายาสีแดงด้วยโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตการศึกษาสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) ขอบเขตด้านพื้นที่และสถานที่ในการวิเคราะห์ คือ สถานีรถไฟฟ้ายาสีแดงเท่านั้น (2) ขอบเขตด้านเนื้อหา ศึกษาประเภทโครงสร้างพาดช่วงกว้าง วิเคราะห์ฐานรองรับเปรียบเทียบแรงภายในที่ส่งผลต่อรูปแบบโครงสร้างหลังคา

สมมติฐาน

โครงสร้างหลังคาเหล็กรูปพรรณอาคารกรณีศึกษามีการใช้ฐานรองรับแบบยึดแน่น เนื่องจากฐานรองรับแบบยึดแน่นส่งผลต่อการกระจายโมเมนต์ภายในโครงสร้าง เกิดการเสียรูปน้อย และแรงภายในที่เกิดขึ้นต่อโครงสร้างส่งผลให้เกิดรูปแบบโครงสร้างหลังคาที่แตกต่างกัน

ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ โดยในขั้นตอนแรก ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เหนือในการพิจารณาประกอบการออกแบบที่ส่งผลต่อสถาปัตยกรรม รายละเอียดสถานีรถไฟฟ้ายาสีแดง ข้อกำหนดในการออกแบบสถานีรถไฟฟ้ายาสีแดง ทฤษฎีโครงสร้าง ต่อมาขั้นตอนที่สอง ทำการลงพื้นที่ภาคสนามเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลโครงสร้างด้านกายภาพ บันทึกภาพสถานที่จริง ทำการเขียนแบบทางด้านสถาปัตยกรรมรูปแบบโครงสร้างหลังคา เพื่อรวบรวมและจำแนกรูปแบบโครงสร้างหลังคา รวมถึงสัมภาษณ์สถาปนิกผู้ออกแบบ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์โครงสร้าง และสุดท้ายขั้นตอนที่สาม วิเคราะห์รูปแบบโครงสร้างหลังคา แรงในโครงสร้างที่ส่งผลต่อสถาปัตยกรรมและสรุปผล

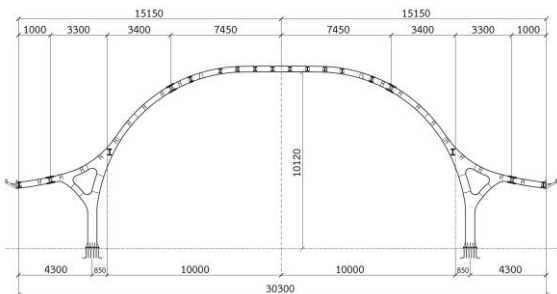
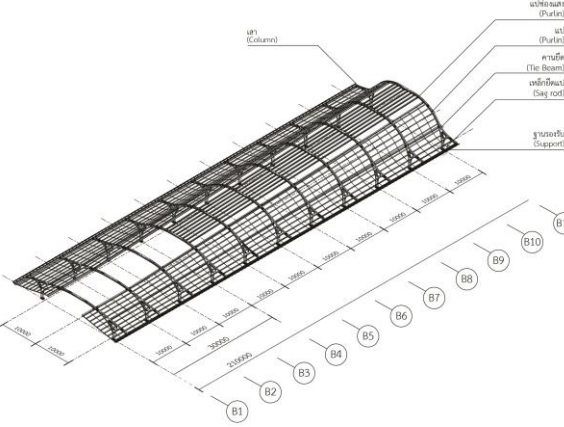
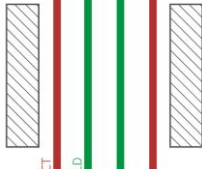
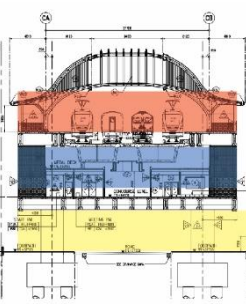
การเลือกตัวอย่างที่ใช้การศึกษา

วิธีการเลือกตัวอย่างเป็นวิธีการเลือกแบบเจาะจง โดยเลือกกรณีศึกษาที่เป็นกลุ่มอาคารสถานีรถไฟฟ้ายาสีแดง และระดับดิน ซึ่งเป็นกลุ่มอาคารที่มีการใช้งานลักษณะเดียวกัน แต่มีความหลากหลายของรูปแบบโครงสร้าง ขึ้นอยู่กับพื้นที่การใช้งาน และรวมถึงปัจจัยด้านอื่น ๆ ประกอบไปด้วย สายสีแดงอ่อน และสีแดงเข้ม ซึ่งทั้ง 2 สาย บริษัทผู้ออกแบบต่างกัน และรูปแบบของสถานีต่างกัน จึงมีรูปแบบโครงสร้างหลังคาแตกต่างกัน โดยมีข้อพิจารณาในการเลือกตัวอย่างที่มีความเหมาะสมดังนี้

- กรณีศึกษาเป็นอาคารที่ใช้โครงสร้างเหล็กรูปพรรณเป็นโครงสร้างหลัก
- ลักษณะการใช้งานอาคารเหมือนกัน หรือใกล้เคียงกัน มีรูปแบบโครงสร้าง และจุดต่อหลากหลาย
- โครงสร้างหลักสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีการ 2 มิติ

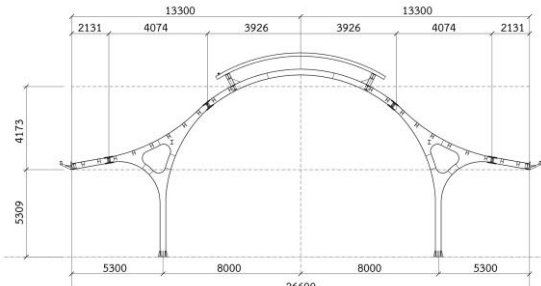
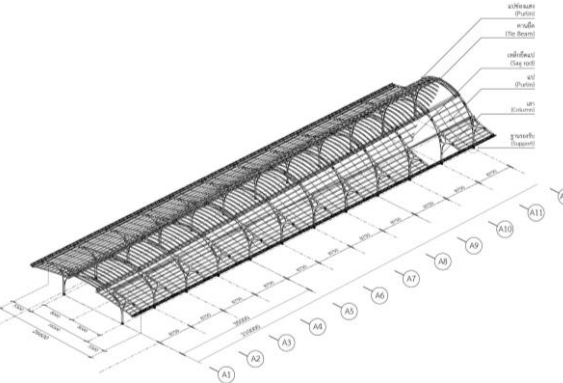
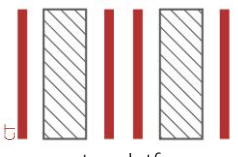
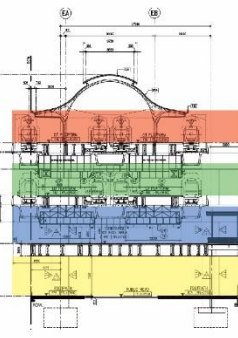
กรณีศึกษาที่ 1 สถานีจตุจักร

ตาราง 1 ข้อมูลทั่วไปโดยสังเขปของสถานีจตุจักร

รูปแบบที่ 1 : สถานีจตุจักร			
			
รูปถ่ายสถานที่จริง		รูปตัดโครงสร้างหลังคาแบบที่ 1	
รูปทรงโครงสร้างแบบที่ 1		รายละเอียดสถานี	
		 side platform	รองรับแนวรางตรงกลางจำนวน 4 ราง โดยมีรางสำหรับรถสินค้าอยู่ตรงกลาง และขบวนขาลาอยู่บริเวณด้านข้าง
			 ชั้นขานขาลารถไฟชานเมือง (CT platform level)
			 ชั้นจำหน่ายตั๋วโดยสาร (concourse level)
			 ชั้นพื้น (ground floor level)
1. สถานที่ตั้ง	ตั้งอยู่ระหว่างสถานีกลางบางซื่อ และสถานีวัดเสมียนนารีโดย ตำแหน่งของสถานีจตุจักรตั้งอยู่ในบริเวณถนนกำแพงเพชร 2 และถนนกำแพงเพชร 6 ใกล้กับบ้านพักการรถไฟฯ		
2. ผู้รับผิดชอบโครงการ	การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.)		
3. ลักษณะทางกายภาพ	โครงสร้างพาดช่วงกว้างประมาณ 22 ม. ระยะยื่นชายคา 4.3 ม. ความยาวในส่วนของหลังคาที่คลุมสถานีประมาณ 210 ม. รูปทรงโครงสร้างหลังคาไล่ระดับความโค้งไม่เท่ากัน หลังคาแบ่งเป็น 2 ส่วน คลุม 2 ข้าง โปรงบริเวณตรงกลาง วัสดุคลุมหลังคาเมทัลชีท		
4. รูปแบบหลังคา	โครงข้อแข็ง (portal frame) ใช้ฐานรองรับแบบยึดแน่น (fixed joint)		
5. รถไฟ	รถไฟชานเมือง (commuter train)	อีตาซี Series2000 (6 ตู้) เป็นรถปรับอากาศขนาดกว้าง 2.86 ม. ยาว 20 ม. สูงประมาณ 3.7 ม. ความเร็วสูงสุด 152 กม./ชม. จุผู้โดยสารได้สูงสุด 1,710 คนต่อขบวน ความกว้างราง 1 ม.	
6. จำนวน	6 สถานี	จตุจักร วัดเสมียนนารี บางเขน พุ่งสองห้อง หลักสี่ การเคหะ	

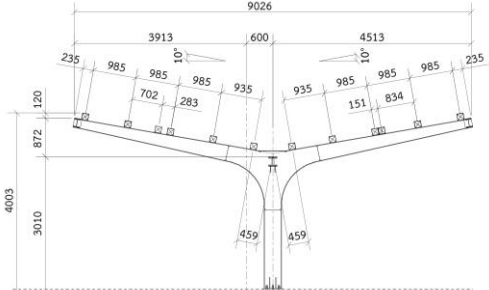
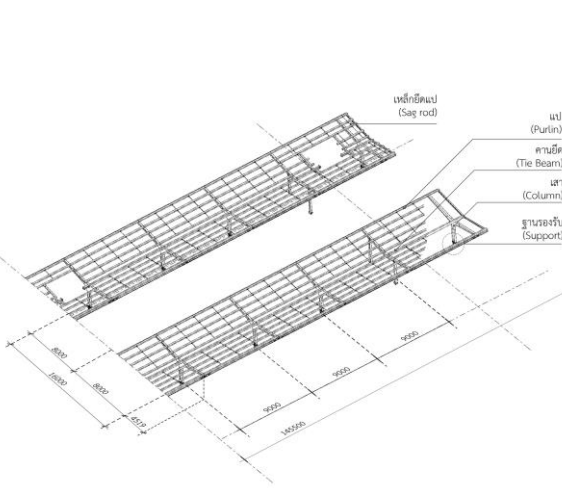
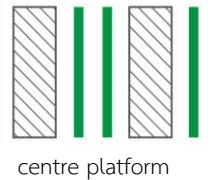
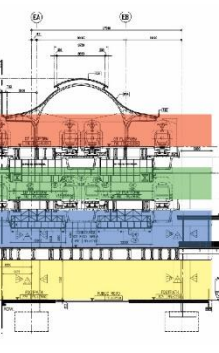
กรณีศึกษาที่ 2 สถานีตอนเมือง

ตาราง 2 ข้อมูลทั่วไปโดยสังเขปของสถานีตอนเมือง

รูปแบบที่ 2 : สถานีตอนเมือง			
			
รูปภาพสถานีจริง		รูปตัดโครงสร้างหลังคากรณีศึกษาที่ 2	
รูปทรงโครงสร้างแบบที่ 2		รายละเอียดสถานี	
		 centre platform	ขานชาลาตรงกลาง รองรับแนวรางทั้งสองด้านของขานชาลา
			ชั้นขานชาลารถไฟชานเมือง (CT platform Level) ชั้นขานชาลารถไฟทางไกล (LD platform Level) ชั้นจำหน่ายตั๋วโดยสาร (concourse Level) ชั้นพื้น (ground floor level)
1. สถานที่ตั้ง	ตั้งอยู่ตรงข้ามอาคารผู้โดยสารท่าอากาศยานตอนเมือง บริเวณถนนกำแพงเพชร 6 และถนนวิภาวดีรังสิต ใกล้สถานีรถไฟตอนเมืองในปัจจุบัน		
2. ผู้รับผิดชอบโครงการ	การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.)		
3. ลักษณะทางกายภาพ	โครงสร้างพาดช่วงพาดกว้าง 16 ม. ระยะยื่นชายคา 5.30 ม. ความยาวคลุมขานชาลาประมาณ 210 ม. และความยาวทั้งสถานี 550 ม. รูปทรงโครงสร้างหลังคาไล่ระดับความโค้งไม่เท่ากัน วัสดุผนังหลังคาเมทัลชีท		
4. รูปแบบหลังคา	โครงข้อแข็ง (Portal frame) ใช้ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed joint)		
5. รถไฟ	รถไฟชานเมือง (commuter train)	ฮิตาชิ Series2000 (6 ตู้) เป็นรถปรับอากาศขนาดกว้าง 2.86 ม. ยาว 20 ม. สูงประมาณ 3.7 ม. ความเร็วสูงสุด 152 กม./ชม. ความกว้างราง 1 ม.	
	รถไฟทางไกล (long distance train)	รถจักรดีเซลไฟฟ้าแบบรุ่นดั้งเดิมและรุ่นใหม่ ความเร็วในการเดินรถ 90-120 กม./ชม. ความกว้างราง 1 ม.	
	รถไฟขนส่งสินค้า (freight train)	รถจักรดีเซลไฟฟ้าแบบรุ่นดั้งเดิมและรุ่นใหม่ ความเร็วในการเดินรถ 60 กม./ชม. ความกว้างราง 1 ม.	
6. จำนวน	3 สถานี	ตอนเมือง หลักหก รังสิต	

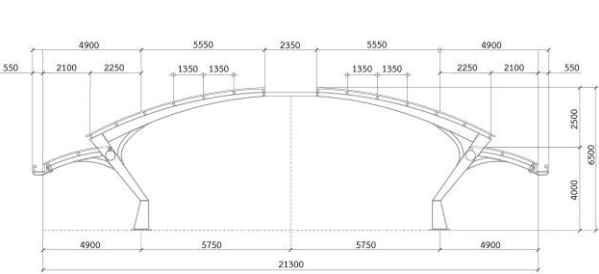
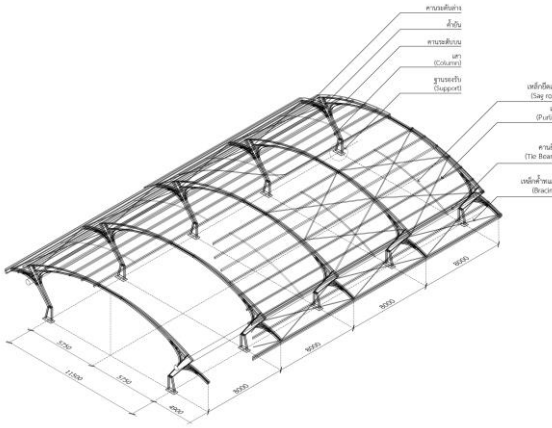
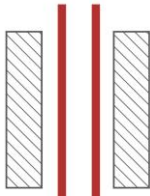
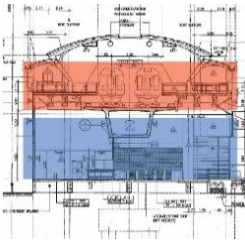
กรณีศึกษาที่ 3 สถานีตอนเมือง

ตาราง 3 ข้อมูลทั่วไปโดยสังเขปของสถานีตอนเมือง

รูปแบบที่ 3 : สถานีตอนเมือง		
 รูปภาพสถานีที่จริง		 รูปตัดโครงสร้างหลังคากรณีศึกษาที่ 3
รูปทรงโครงสร้างแบบที่ 3		รายละเอียดสถานี
		 centre platform  ขานชาลาตรงกลาง รองรับแนวรางทั้งสองด้านของขานชาลา ชั้นขานชาลารถไฟชานเมือง (CT platform Level) ชั้นขานชาลารถไฟทางไกล (LD platform Level) ชั้นจำหน่ายตั๋วโดยสาร (concourse level) ชั้นพื้น (ground floor level)
1. สถานที่ตั้ง	ตั้งอยู่ตรงข้ามอาคารผู้โดยสารท่าอากาศยานตอนเมือง บริเวณถนนกำแพงเพชร 6 และถนนวิภาวดีรังสิต ใกล้กับสถานีรถไฟตอนเมืองในปัจจุบัน	
2. ผู้รับผิดชอบโครงการ	การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.)	
3. ลักษณะทางกายภาพ	โครงสร้างรูปตัว T ยื่นออกมาคลุมบริเวณขานชาลา ระยะยื่นประมาณ 5 ม. วางโครงสร้างหลักระยะห่าง 9 ม. ความสูงประมาณ 4 ม. ความยาวในส่วนของหลังคาที่คลุมสถานีประมาณ 145.5 ม. วัสดุหลังคาเมทัลชีท	
4. รูปแบบหลังคา	โครงข้อแข็ง (Portal frame) ใช้ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed joint)	
5. รถไฟ	รถไฟชานเมือง (commuter train)	อีตาซี Series2000 (6 ตู้) เป็นรถปรับอากาศขนาดกว้าง 2.86 ม. ยาว 20 ม. สูงประมาณ 3.7 ม. ความเร็วสูงสุด 152 กม./ชม. ความกว้างราง 1 ม.
	รถไฟทางไกล (long distance train)	รถจักรดีเซลไฟฟ้าแบบร่นดั้งเดิมและร่นใหม่ ความเร็วในการเดินรถ 90-120 กม./ชม. ความกว้างราง 1 ม.
	รถไฟขนส่งสินค้า (freight train)	รถจักรดีเซลไฟฟ้าแบบร่นดั้งเดิมและร่นใหม่ ความเร็วในการเดินรถ 60 กม./ชม. ความกว้างราง 1 ม.
6. จำนวน	3 สถานี	ตอนเมือง หลักกม รังสิต

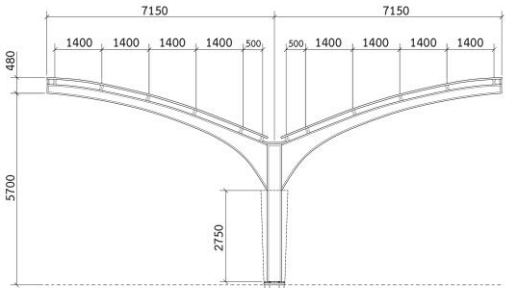
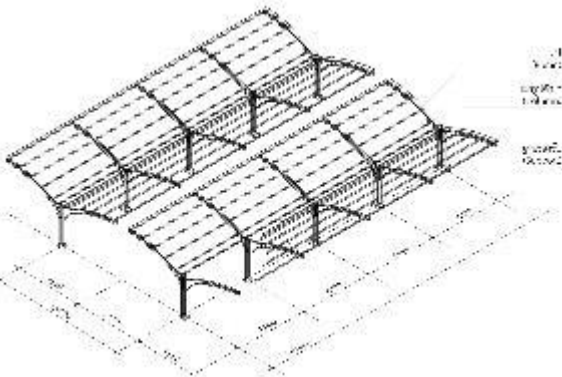
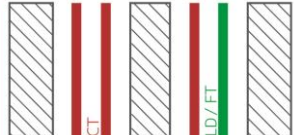
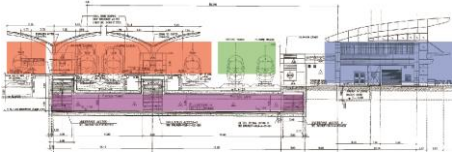
กรณีศึกษาที่ 4 สถานีบางซื่อ

ตาราง 4 ข้อมูลทั่วไปโดยสังเขปของสถานีบางซื่อ

รูปแบบที่ 4 : สถานีบางซื่อ		
 รูปภาพสถานีจริง		 รูปตัดโครงสร้างหลังคากรณีศึกษาที่ 4
รูปทรงโครงสร้างแบบที่ 4		รายละเอียดสถานี
	 side platform	รองรับเฉพาะรถไฟฟ้าชานเมือง (CT platform) แนวรางตรงกลาง จำนวน 2 ราง และชานชาลาอยู่บริเวณด้านข้าง
		 ชั้นชานชาลารถไฟฟ้าชานเมือง (CT platform level)
		 ชั้นจำหน่ายตั๋วโดยสาร (concourse level)
1. สถานที่ตั้ง	ถนนกรุงเทพ-นนทบุรี เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ ตั้งอยู่บริเวณใกล้แหล่งชุมชนและอสังหาริมทรัพย์บริเวณพื้นที่เศรษฐกิจ เขตบางซื่อ โดยเป็นจุดเชื่อมต่อกับรถไฟฟ้าสายสีม่วง (MRT บางซื่อ)	
2. ผู้รับผิดชอบโครงการ	การรถไฟฟ้าแห่งประเทศไทย (รฟท.)	
3. ลักษณะทางกายภาพ	โครงสร้างพาดช่วงกว้างประมาณ 12 ม. ระยะยื่นชายคาประมาณ 5 ม. ความยาวในส่วนของหลังคาที่คลุมสถานีประมาณ 220 ม. หลังคาแบ่งเป็น 4 ส่วน คลุมหลังคาทั้ง 2 ข้าง เว้นบริเวณช่องแสง (เปิดโล่ง)	
4. รูปแบบหลังคา	โครงข้อแข็ง (Portal frame) ใช้ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed joint)	
5. รถไฟ	รถไฟฟ้าชานเมือง (commuter train)	ตู้รถ ซีตาซี Series2000 (4 ตู้) เป็นรถปรับอากาศขนาดกว้าง 2.8-3.7 ม. ยาว 20 ม. สูงประมาณ 3.7 ม. ความเร็วสูงสุด 114 กม./ชม. จุผู้โดยสารได้สูงสุด 1,120 คนต่อขบวน
6. จำนวน	1 สถานี	บางซื่อ

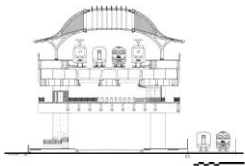
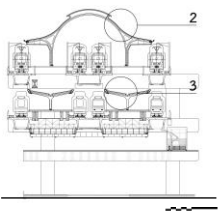
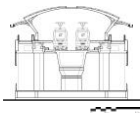
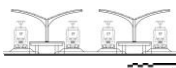
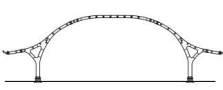
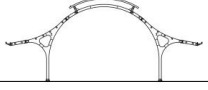
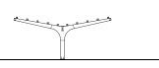
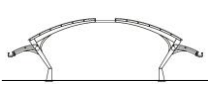
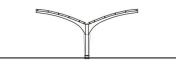
กรณีศึกษาที่ 5 สถานีตลิ่งชัน

ตาราง 5 ข้อมูลทั่วไปโดยสังเขปของสถานีตลิ่งชัน

รูปแบบที่ 5 : สถานีตลิ่งชัน		
 รูปภาพสถานที่จริง		 รูปตัดโครงสร้างหลังคาแบบที่ 5
รูปทรงโครงสร้างแบบที่ 5		รายละเอียดสถานี
		 side platform centre platform
		สถานีระดับดิน ใช้รูปแบบขานชาลาทั้งขานชาลาด้านข้าง และขานชาลาเกาะกลาง สถานีมีความยาว 300 ม. เพื่อรองรับขบวนรถไฟทางไกล รถขนส่งสินค้า และรถไฟชานเมือง
		
		พื้นที่ขานชาลารถไฟชานเมือง (CT platform level) พื้นที่จำหน่ายตั๋วโดยสาร (concourse level) พื้นที่ขานชาลารถไฟทางไกล (LD platform level) ทางเดินลอดชั้นใต้ดิน
1. สถานที่ตั้ง	ถนนฉิมพลี (ซอยฉิมพลี 12) บริเวณสถานีรถไฟตลิ่งชันเดิม ในพื้นที่แขวงฉิมพลี เขตตลิ่งชัน กรุงเทพมหานคร	
2. ผู้รับผิดชอบโครงการ	การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.)	
3. ลักษณะทางกายภาพ	สถานีระดับดิน เป็นโครงสร้างเสารูปตัว T ยื่นออกมาคลุมบริเวณขานชาลา โดยมีระยะยื่นชายคาประมาณ 5 ม. วางโครงสร้างหลักระยะห่าง 8 ม. ความยาวในส่วนของหลังคาที่คลุมสถานีประมาณ 300 ม.	
4. รูปแบบหลังคา	โครงสร้างรูปตัว T ขนาบสองข้าง โดยเว้นบริเวณช่องกลาง ใช้ฐานรองรับแบบยึดแน่น (Fixed joint)	
5. รถไฟ	รถไฟชานเมือง (commuter train)	อีตาซี Series2000 (4 ตู้) เป็นรถปรับอากาศขนาดกว้าง 2.8-3.7 ม. ยาว 20 ม. สูงประมาณ 3.7 ม. ความเร็วสูงสุด 114 กม./ชม. ความกว้างราง 1 ม.
	รถไฟทางไกล (long distance train)	รถจักรดีเซลไฟฟ้าแบบรุ่นดั้งเดิมและรุ่นใหม่ ความเร็วในการเดินรถ รถโดยสาร 90-120 กม./ชม. ความกว้างราง 1 ม.
	รถไฟขนส่งสินค้า (freight train)	รถจักรดีเซลไฟฟ้าแบบรุ่นดั้งเดิมและรุ่นใหม่ ความเร็วในการเดินรถ 60 กม./ชม. ความกว้างราง 1 ม.
6. จำนวน	2 สถานี	ตลิ่งชัน บางบำหรุ

การวิเคราะห์จำแนกรูปแบบโครงสร้างหลังคา

ตาราง 6 การวิเคราะห์จำแนกรูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟสายสีแดง ต่ิ่งชั้น-บางซื่อ-รังสิต

รูปแบบสถานี	สีแดงเข้ม (บางซื่อ-รังสิต)			สีแดงอ่อน (บางซื่อ-ตลิ่งชัน)	
					
รูปแบบโครงสร้างหลังคา					
	1	2	3	4	5

จากตาราง 6 สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบโครงสร้างหลังคาประกอบไปด้วย 5 รูปแบบ จากการสรุปพบว่าโครงการดังกล่าวมีรูปแบบโครงสร้างหลังคาที่หลากหลาย โดยมีทั้งสถานียกระดับ สถานีระดับดิน ในแต่ละสถานีรองรับรถไฟโดยสารแตกต่างกัน แต่มีขนาดราง 1 ม. เท่ากันทั้งหมด เพื่อให้รถไฟดั้งเดิมและรถไฟสามารถใช้รางร่วมกันได้

รูปแบบโครงสร้างหลังคาประกอบไปด้วย สายสีแดงเข้ม 3 รูปแบบ และสายสีแดงอ่อน 2 รูปแบบ มีความแตกต่างทั้งขนาดของเหล็กรูปพรรณที่เลือกใช้ รวมถึงรูปแบบชานชาลา เนื่องจากแต่ละรูปแบบมีระยะช่วงพาดกว้าง และขนาดโครงสร้างที่แตกต่างกัน ส่งผลให้สามารถรองรับจำนวนรางได้ไม่เท่ากัน

รูปแบบที่ 1 รองรับจำนวนรางทั้งหมด 4 ราง โดยใช้ชานชาลาข้าง (side platform) มีช่วงพาดกว้างที่สุด 20 เมตร รูปแบบที่ 2 สามารถรองรับจำนวนรางได้น้อยกว่ารูปแบบที่ 1 รูปแบบนี้ใช้ร่วมกับชานชาลากลาง (center platform) ซึ่งรองรับแนวรางทั้งสองด้านของชานชาลา จึงไม่จำเป็นต้องช่วงพาดกว้างมากนั่นเอง รูปแบบที่ 3 มักจะอยู่ชั้นพื้นดิน หรือชั้นที่ 2 จะไม่อยู่ชั้นบนสุด เนื่องจากรูปทรงของหลังคาไม่สามารถปกคลุมพื้นที่ได้ทั้งหมด สามารถป้องกันสภาพแวดล้อมภายนอกได้บางส่วน โดยจะใช้กับชั้นชานชาลารถไฟทางไกลเท่านั้นซึ่งเป็นชานชาลากลาง รองรับแนวรางสองด้าน รูปแบบที่ 4 ใช้ร่วมกับชานชาลาด้านข้าง รองรับจำนวน 2 ราง โครงสร้างหลังคาจึงมีช่วงพาดกว้างไม่กว้างเท่ารูปแบบที่ 1 แต่จะเท่า ๆ กับรูปแบบที่ 2 โดยมีช่วงพาดกว้างประมาณ 12 เมตร และสุดท้ายรูปแบบที่ 5 จะคล้ายกับรูปแบบที่ 3 แตกต่างกันตรงที่รูปแบบที่ 5 ใช้กับสถานีระดับดิน แต่รูปแบบที่ 3 ใช้กับสถานียกระดับ และรูปแบบที่ 5 จะมีรูปทรงโค้งกว่ารูปแบบที่ 3 โดยระยะยื่นของหลังคาเท่า ๆ กับรูปแบบที่ 3 มีระยะยื่นประมาณ 7 เมตร โดยโครงสร้างหลังคารูปแบบนี้จะไม่ปกคลุมพื้นที่ทั้งหมด แต่จะใช้วิธีการวางโครงสร้างขนานข้างกันให้เกิดพื้นที่ปกคลุมมากขึ้น เพื่อให้สะดวกต่อผู้โดยสารนั่นเอง

การวิเคราะห์โครงสร้างหลังคาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์ผลของสภาวะจุดต่อ จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแรงภายในโครงสร้างที่เกิดขึ้นด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element) หลักการทั่วไปในการวิเคราะห์ คือการแบ่งระบบโครงสร้างออกเป็นเอลิเมนต์เล็ก ๆ ซึ่งการจำลองโครงสร้างหลังคาในการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการจำลองเอลิเมนต์มิติเดียว ด้วยจุดต่อ 2 จุด (2-node frame

element) เอลิเมนต์มิติเดียวจะใช้แทนโครงสร้างที่มีการกระจัดหรือการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียว ลักษณะเชิงเส้น (ภานุมาศ พรทอง และคณะ, 2546) งานวิจัยในครั้งนี้อาศัยโปรแกรม SAP2000 ในการวิเคราะห์โครงสร้าง เนื่องจากเป็น โปรแกรมคอมพิวเตอร์พื้นฐานที่นิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้าง ที่วิทยานิพนธ์ฉบับอื่น ๆ ได้นำมาใช้ (กอบิตรา ประชาอาทร, 2555; ชำนาญ ดวงจรัส และเพลินพิศ ปานแก้ว, 2550; สิทธิชัย ยอยโพธิ์สัย และคณะ, 2564) และมีความ คล้ายคลึงกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

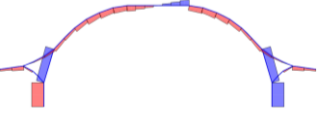
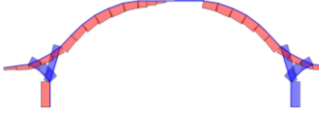
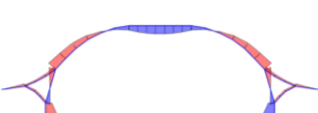
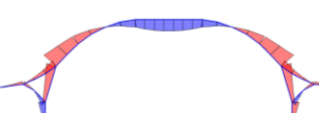
การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรม SAP2000 จะต้องสร้างแบบจำลองโครงสร้าง (model) ขึ้นมาก่อน ประกอบด้วย เสา คาน คานยึดรั้งด้านข้าง แป เหล็กยึดแป และเหล็กค้ำยัน เป็นวัสดุเหล็กทั้งหมด ต่อมากำหนดแรงที่ใช้ ในการวิเคราะห์ แรงที่กระทำในแนวดิ่ง (gravity loads) และแรงที่กระทำด้านข้าง (lateral loads) จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปคุณสมบัติของวัสดุ (properties of materials) และปริมาณแรงที่ใช้เป็นเงื่อนไขในการพิจารณาแบบจำลอง โครงสร้าง ดังตาราง 7 ได้ดังนี้

ตาราง 7 คุณสมบัติวัสดุ และปริมาณแรงที่ใช้ในการวิเคราะห์

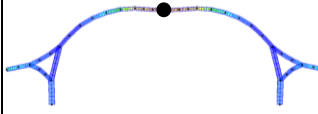
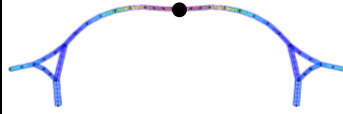
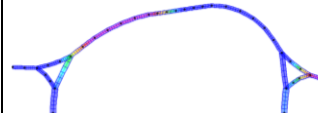
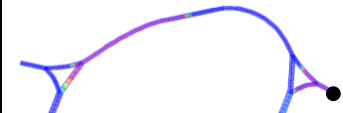
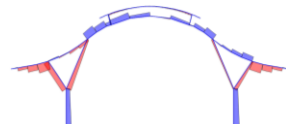
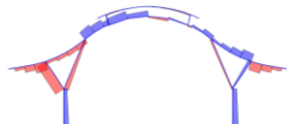
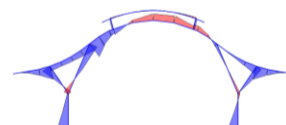
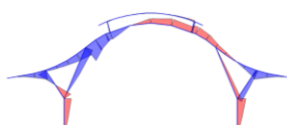
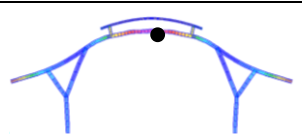
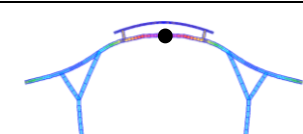
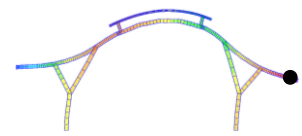
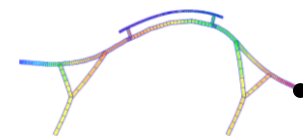
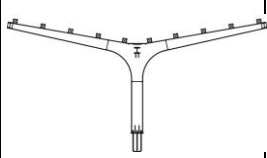
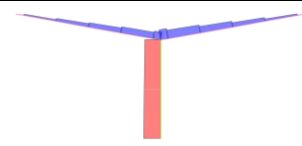
ประเภท		ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์
วัสดุ	เหล็ก	มาตรฐาน SS400
แรงที่กระทำในแนวดิ่ง (Gravity loads)	น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) : LL	50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
	น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่มเติม (Super Dead Load) : SDL (วัสดุหลังคา metal sheet)	5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
แรงที่กระทำด้านข้าง (Lateral loads)	แรงกระทำจากลม (Wind Load) : WL (ความสูงของอาคารที่สูงเกิน 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร)	120 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร

จากการสัมภาษณ์สถาปนิกผู้ออกแบบ (เอกสิทธิ์ ฤกษ์สมบัติ, การสื่อสารส่วนบุคคล, 8 มิถุนายน 2566) ได้กล่าวไว้ ว่ากระบวนการออกแบบจะพิจารณาใช้ฐานรองรับโดยขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการรับโมเมนต์แรงดัด (moment) ที่เกิดขึ้นบริเวณฐานเสาของโครงสร้างพื้นสถานี โดยได้พิจารณาเปรียบเทียบสองแนวทางระหว่างฐานรองรับแบบยึดแน่น (fixed) และแบบยึดหมุน (hinge) ดังนั้นในการวิเคราะห์โครงสร้าง จึงใช้การกำหนดรูปแบบของจุดต่อฐานรองรับ 2 รูปแบบ เปรียบเทียบแรงที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้าง (internal force) พิจารณาน้ำหนักของขนาดองค์อาคาร และรูปลักษณะของ สถาปัตยกรรม ซึ่งได้จากการจำลองตัวอย่างชิ้นส่วนโครงสร้างหลังคาทั้ง 5 รูปแบบ จากนั้นเปรียบเทียบผลวิเคราะห์แรงเฉือน (shear) โมเมนต์แรงดัด และการเสียรูป (deformed) ตามแบบจำลองที่สร้างขึ้นดังตาราง 8 ดังนี้

ตาราง 8 การวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างหลังคาโดยเปลี่ยนฐานรองรับด้วยโปรแกรม SAP2000

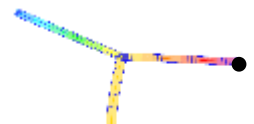
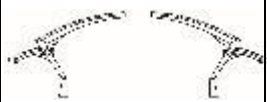
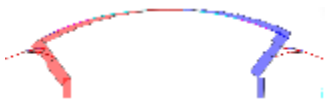
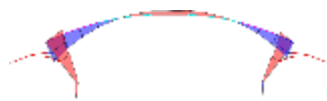
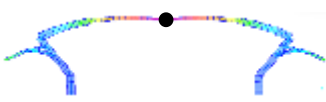
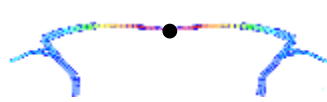
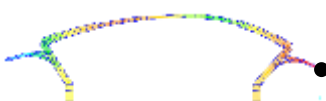
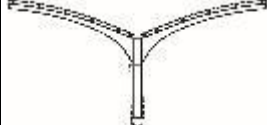
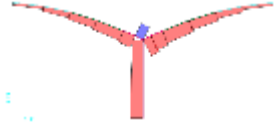
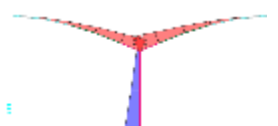
โครงสร้างหลังคา		ฐานรองรับ	
		แบบยึดแน่น (Fixed)	แบบยึดหมุน (Hinge)
รูปแบบที่ 1 : สถานีผู้โดยสาร		Shear* 	
		Moment* 	

ตาราง 8 การวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างหลังคาโดยเปลี่ยนฐานรองรับด้วยโปรแกรม SAP2000 (ต่อ)

โครงสร้างหลังคา		ฐานรองรับ					
		แบบยึดแน่น (Fixed)				แบบยึดหมุน (Hinge)	
รูปแบบที่ 1 : สถานีจักร (ต่อ)		Deformed	Gravity Load				
				Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.0078		Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.0121	
			Lateral Load				
				Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.0002		Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.0016	
รูปแบบที่ 2 : สถานีดอนเมือง		Shear*					
							
		Deformed	Gravity Load				
				Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.0017		Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.0021	
			Lateral Load				
				Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.0028		Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.0071	
รูปแบบที่ 3 : สถานีดอนเมือง		Shear*				N/A	
				Moment**			

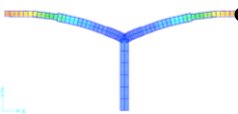
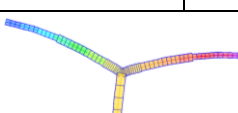
* Service Load Case = DL+SDL+LL+WL

ตาราง 8 การวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างหลังคาโดยเปลี่ยนฐานรองรับด้วยโปรแกรม SAP2000 (ต่อ)

โครงสร้างหลังคา		ฐานรองรับ					
		แบบยึดแน่น (Fixed)		แบบยึดหมุน (Hinge)			
รูปแบบที่ 3 : สถานีดอนเมือง (ต่อ)		Deformed	Gravity Load			N/A	
				Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.0088			
			Lateral Load				
				Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.010			
รูปแบบที่ 4 : สถานีบางซื่อ		Shear*					
		Moment*					
		Deformed	Gravity Load				
				Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.0036		Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.0051	
			Lateral Load				
				Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.0007		Vertical Deformation Maximum (mm.) 0.0062	
รูปแบบที่ 5 : สถานีตลิ่งชัน		Shear*				N/A	
		Moment*					

* Service Load Case = DL+SDL+LL+WL

ตาราง 8 การวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างหลังคาโดยเปลี่ยนฐานรองรับด้วยโปรแกรม SAP2000 (ต่อ)

โครงสร้างหลังคา		ฐานรองรับ			
		แบบยึดแน่น (Fixed)		แบบยึดหมุน (Hinge)	
รูปแบบที่ 5 : สถานีใต้ถัง (ต่อ)		Deformed	Gravity Load		
				Vertical Deformation Maximum (mm.)	0.0027
			Lateral Load		
				Vertical Deformation Maximum (mm.)	0.0034
				N/A	

* Service Load Case = DL+SDL+LL+WL

จากตาราง 8 จะเห็นความสอดคล้องระหว่างโครงสร้างหลังคาที่ก่อสร้างจริง และผลการวิเคราะห์แรงภายในโครงสร้าง โดยสามารถสรุปผลของการวิเคราะห์ฐานรองรับได้ดังนี้ กรณีสถานีจัดจักษ์ (รูปแบบที่ 1) พบว่าองค์อาคารเกิดการเสีรูปน้อยลงเมื่อฐานเป็นแบบยึดแน่น และเกิดโมเมนต์ดัดบริเวณกึ่งกลางคานและบริเวณไหล่ของโครงสร้างลดลงกว่าแบบยึดหมุน ผลของฐานรองรับกรณีสถานีดอนเมือง (รูปแบบที่ 2) พบว่าฐานรองรับแบบยึดแน่น เกิดแรงเฉือนมากบริเวณไหล่ของโครงสร้าง และเสา เกิดโมเมนต์ดัดบริเวณเสามากกว่า ซึ่งส่งผลให้มีการกระจายโมเมนต์ดัดบริเวณคานและไหล่โครงสร้าง สม่่าเสมอกว่า ผลของฐานรองรับกรณีสถานีดอนเมือง (รูปแบบที่ 3) เป็นโครงสร้างรูปตัว T เกิดโมเมนต์ดัดมากบริเวณฐานเสา และเกิดแรงเฉือนมากบริเวณเสาและจุดต่อระหว่างแขนขององค์อาคาร แรงกระทำในแนวตั้งส่งผลต่อการเสีรูปขององค์อาคารมากกว่า ผลของฐานรองรับกรณีสถานีบางซ้อ (รูปแบบที่ 4) พบว่าฐานรองรับแบบยึดแน่นช่วยให้โครงสร้างเสีรูปน้อยลง โมเมนต์ดัดของฐานรองรับแบบยึดแน่นมีมากบริเวณเสา ส่งผลให้บริเวณองค์อาคารอื่น ๆ เกิดการกระจายโมเมนต์ดัด สม่่าเสมอกว่าแบบยึดหมุน เกิดแรงเฉือนในแบบยึดหมุนน้อยลง ผลของฐานรองรับกรณีสถานีใต้ถัง (รูปแบบที่ 5) เป็นโครงสร้างรูปตัว T ฐานรองรับแบบยึดแน่น เกิดโมเมนต์ดัดมากบริเวณเสาด้านล่างและจุดต่อระหว่างแขนขององค์อาคาร แรงกระทำด้านข้างส่งผลต่อการเสีรูปขององค์อาคารมากกว่า

บทสรุป

จากการวิเคราะห์สามารถสรุปผลได้ว่า รูปแบบโครงสร้างหลังคามีทั้งหมด 5 รูปแบบ หลังคาที่ใช้มากที่สุดคือ โครงสร้างหลังคารูปแบบที่ 1 เนื่องจากมีช่วงพาดกว้างมากที่สุด รองลงมาเป็นรูปแบบที่ 2 รูปแบบที่ 3 รูปแบบที่ 5 และรูปแบบที่ 4 ตามลำดับ ผังและรูปแบบขานขาลา รวมถึงแนวระยะปลอดภัยของยานพาหนะที่วิ่งไปตามแนวราง (rolling stocks) เป็นตัวกำหนดรูปแบบของโครงสร้างหลังคา

รูปแบบของฐานรองรับมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อรูปทรงและขนาดองค์อาคารของโครงสร้าง โดยจุดต่อแบบยึดแน่น ส่งผลให้องค์อาคารเกิดการเสีรูปน้อยลง และมีการกระจายโมเมนต์ดัดมากขึ้น ส่งผลให้ขนาดของโครงสร้างหรือหน้าตัดเล็กลง และจุดต่อแบบยึดหมุน โดยส่วนมากเกิดการเสีรูป และเกิดแรงเฉือนมากขึ้น แต่มีการกระจายโมเมนต์ดัดน้อยลง ส่งผลให้รูปทรงของโครงสร้างมีขนาดใหญ่กว่าฐานรองรับแบบยึดแน่น ก็จะเห็นได้ว่าการใช้จุดต่อแบบยึดแน่น มีข้อดีมากกว่าแบบยึดหมุน

และในงานก่อสร้างจริงสถานีรถไฟสายสีแดงจึงเลือกใช้ฐานรองรับแบบยึดแน่นทั้งหมด เนื่องจากการก่อสร้างไม่ยุ่งยาก และยังสามารถประหยัดค่าวัสดุเหล็ก

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษารูปแบบโครงสร้างหลังคาสถานีรถไฟสายสีแดง (ตลิ่งชัน-บางซื่อ-รังสิต) มีข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้

- จากการสำรวจพบว่า มีส่วนต่อขยายไปในอีกหลายเส้นทาง จึงควรศึกษาโครงสร้างสถานีอื่น ๆ ร่วมด้วย เพื่อจะได้เห็นความหลากหลายของรูปทรงและแรงที่เกิดภายในโครงสร้าง
- ควรศึกษาองค์ประกอบโครงสร้างอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น เสา คาน ผนัง และวิธีการก่อสร้าง
- ควรศึกษาแนวความคิดทางการออกแบบ ในเรื่องของแสงแดด การระบายอากาศ และการป้องกันฝนเพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการออกแบบ

บรรณานุกรม

- กระทรวงคมนาคม. สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร [สนข.]. (2551). *โครงการปรับเปลี่ยนรายละเอียดระบบรถไฟฟ้าสายสีแดง ช่วงบางซื่อ - รังสิต รวมสถานีรถไฟบางซื่อ รายงานการออกแบบฉบับสุดท้าย*. สนข.
- กออิศรา ประชาอาทร. (2555). *จุดต่อโครงสร้างหลังคาเหล็กกรุพรรณช่วงพาดกว้าง : กรณีศึกษา สถานีรถไฟฟ้าเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง]. WebOPAC KMITL Central Library. <https://opac.lib.kmitl.ac.th/main/index.aspx>
- การรถไฟแห่งประเทศไทย. (2562). *วารสารรถไฟสัมพันธ์ 122 ปีก้าวสู่นาครรถไฟไทย*. ดาวฤกษ์คอมมูนิเคชั่นส์. https://www.railway.co.th/RailwayMiddleFile/NewsAndActImg/1424/132055630040840168_SRT122 years.pdf
- เจริญพัฒน์ ภูวนันท์. (2542). *การก่อสร้างด้วยเหล็ก*. อี.ที.พับลิชชิง.
- เฉลิม สุจริต. (2543). *วัสดุและการก่อสร้างสถาปัตยกรรม* (พิมพ์ครั้งที่ 5). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชลธิ อิมอุดม. (2556). *ระบบโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม*. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชวลิต นิตยะ. (2548). *โครงสร้างในงานสถาปัตยกรรม* (พิมพ์ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ชำนาญ ดวงจรัส และเพลินพิศ ปานแก้ว. (2550). การกระจายโมเมนต์ภายในแผ่นพื้นสองทางรองรับด้วยคานยึดหุ่นและเสา ด้วยวิธีวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 17(3), 1-10.
- ภาณุมาศ พรทอง, ภูวเดช ไพศาลวัชรกิจ, และอภิรักษ์ ดวงสนิท. (2546). *เอกสารและสื่ออิเล็กทรอนิกส์การใช้งานโปรแกรม SAP2000 เพื่อประกอบการสอนวิชาโครงสร้าง* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ไม่ได้ตีพิมพ์]. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สิทธิชัย ยอยโพธิ์ชัย, ธันยดา พรหมเชษฐ์, และเมธี บุญพิเชฐวงศ์. (2564). การวิเคราะห์โครงข้อแข็งเหล็กขึ้นรูปเป็นภายใต้แรงลม. *วารสารวิจัย มช. (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*, 21(1), 50-63.
- สุจริต คุณธนกุลวงศ์ และทักษิณ เทพชาติวี. (2530). *การก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก*. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- Ching, Francis D.K. (2008). *Building construction illustrated* (4th ed.). John Wiley and Sons.